



①9 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 102 08 170 A 1**

⑤1 Int. Cl. 7:
H 01 S 5/18
H 01 L 33/00

②1 Aktenzeichen: 102 08 170.0
②2 Anmeldetag: 26. 2. 2002
④3 Offenlegungstag: 11. 9. 2003

DE 102 08 170 A 1

⑦1 Anmelder:
OSRAM Opto Semiconductors GmbH, 93049
Regensburg, DE

⑦4 Vertreter:
Epping, Hermann & Fischer GbR, 80339 München

⑦2 Erfinder:
Strauss, Uwe, 93077 Bad Abbach, DE; Baur,
Johannes, Dr., 93180 Deuerling, DE; Brüderl, Georg,
Dr., 93133 Burglengenfeld, DE; Eisert, Dominik, Dr.,
93049 Regensburg, DE; Kaiser, Stephan, Dr., 93051
Regensburg, DE; Lell, Alfred, 93142
Maxhütte-Haidhof, DE; Lugauer, Hans-Jürgen, Dr.,
93173 Wenzenbach, DE

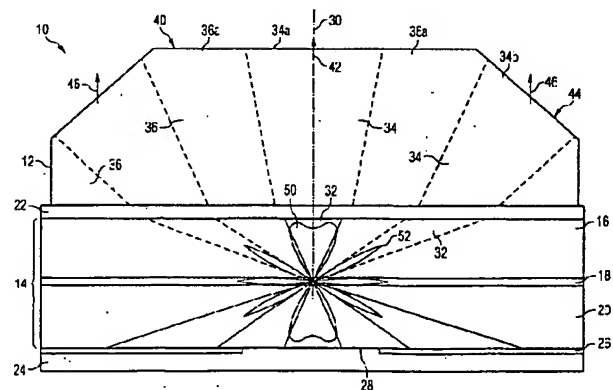
⑤6 Entgegenhaltungen:
US 60 26 111 A
US 59 66 399 A
US 59 56 364 A
EP 12 07 599 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement mit einer vertikalen Emissionsrichtung und dessen Herstellungsverfahren

⑤1 Bei einem vertikal strahlungsemitierenden Halbleiterbauelement mit einem Strahlungsauskopffenster (12), einer auf dem Substrat (12) angeordneten, eine Photonen emittierende aktive Schicht (18) enthaltende Halbleiterschichtfolge (14), einer zwischen dem Strahlungsauskopffenster (12) und der Halbleiterschichtfolge (14) angeordnete ersten Spiegelschicht (22) mit Reflektivität R_1 , einer auf der dem Strahlungsauskopffenster (12) abgewandten Seite des Halbleiterschichtfolge angeordneten zweiten Spiegelschicht (24) mit Reflektivität R_2 , wobei die erste und zweite Spiegelschicht (22, 24) einen Resonator bilden, dessen Achse (30) die vertikale Emissionsrichtung darstellt, ist die Reflektivität R_1 der ersten Spiegelschicht (22) kleiner als die Reflektivität R_2 der zweiten Spiegelschicht (24), und ist das Strahlungsauskopffenster (12) für die im Betrieb von der aktiven Schicht (18) emittierte Strahlung transparent, so daß die vertikal emittierte Strahlung (42, 46) im wesentlichen über das Strahlungsauskopffenster (12) aus dem Bauelement ausgekoppelt wird.



DE 102 08 170 A 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement mit einer vertikalen Emissionsrichtung. Sie betrifft weiterhin ein Verfahren zum Herstellen eines solchen Halbleiterbauelements.

[0002] Ein solches Halbleiterbauelement weist beispielsweise eine auf einem Substrat angeordnete Halbleiterschichtfolge, die eine Photonen emittierende aktive Schicht enthält, eine zwischen dem Substrat und der Halbleiterschichtfolge angeordnete erste Spiegelschicht mit Reflektivität R_1 , und eine auf der dem Substrat abgewandten Seite der Halbleiterschichtfolge angeordnete zweite Spiegelschicht mit Reflektivität R_2 auf, wobei die erste und zweite Spiegelschicht einen Resonator bilden, dessen Achse die vertikale Emissionsrichtung des Bauelements darstellt.

[0003] Vertikal strahlungsemitierende Halbleiterbauelemente wie oberflächenemittierende Laser mit senkrecht stehendem Resonator (VCSEL, vertical cavity surface emitting laser) und resonante lichtemittierende Dioden (RCLED, resonant cavity light emitting diode) sind für eine breite Vielfalt von Anwendungen, wie etwa der optischen Verbindung integrierter Schaltungen, optischen Rechnern, optischen Aufnahme- und Auslesesystemen, sowie für die Telekommunikation von zunehmender Bedeutung.

[0004] VCSELs und RCLEDs weisen eine ähnliche Grundstruktur auf. Eine Halbleiterschichtfolge mit einer strahlungserzeugenden aktiven Schicht, beispielsweise ein Quantentopf oder ein Mehrfachquantentopf ist in einem Resonator angeordnet, dessen Achse senkrecht zu den Hauptflächen der Schichtfolge steht. Es ergibt sich eine Strahlungsemission im wesentlichen parallel zur Resonatorachse, also vertikal bezogen auf die Ebene der aktiven strahlungserzeugenden Schicht.

[0005] Solche vertikal emittierenden Bauelemente haben eine Reihe von Vorteilen gegenüber kantenemittierenden Bauelementen, einschließlich der Möglichkeiten solche Oberflächenemitter in Form einer zweidimensionalen Matrix anzuordnen. Die kreisförmige Strahlgeometrie ist auch ausgezeichnet für die Einkopplung der Strahlung in optische Lichtleiter geeignet, die in einer Vielzahl von Einsatzgebieten zur Anwendung kommen.

[0006] RCLEDs weisen Eigenschaften zwischen einer gewöhnlichen LED und einer Laserdioden auf. Verglichen mit normalen LEDs erzeugen sie wegen des Einschlusses der aktiven Schicht in den Mikroresonator eine stärker nach vorne gerichtete, leuchtstärkere Strahlung größerer spektraler Reinheit, und weisen gleichzeitig eine höhere Modulationsgeschwindigkeit auf.

[0007] Fig. 1 zeigt eine allgemein mit 100 bezeichnete resonante Leuchtdiode 100 nach dem Stand der Technik (siehe z. B. "Improved characteristics of InGaN multiple-quantum-well light-emitting diode by GaN/AlGaIn distributed Bragg reflector grown on sapphire" von N. Nakada et al., Appl. Phys. Lett., Vol. 76, No. 14, 03. April 2000, Seiten 1804-1807). Auf einem nicht-leitenden Saphir-Substrat 102 ist eine Schichtenfolge 104 aufgewachsen, die eine n-leitende Schicht 106, eine aktive Schicht 108 und eine p-leitende Schicht 110 umfaßt.

[0008] Der Resonator wird durch zwei Spiegelschichten gebildet, die beispielsweise aus nicht-leitenden verteilten Braggreflektoren 112, 114 (DBR, distributed Bragg reflectors), also aus einer alternierenden Abfolge zweier Halbleiterschichten mit unterschiedlichem Brechungsindex bestehen. Um die erforderlichen hohen Reflektivitäten von 99% oder mehr zu erreichen, ist dabei eine große Zahl an Halbleiterschichten in dem Bragg-Spiegel erforderlich.

[0009] Der substratseitige Spiegel 112 weist dabei eine

möglichst hohe Reflektivität auf, der andere Spiegel 114 dient zur Auskopplung der Strahlung und hat somit eine etwas niedrigere Reflektivität.

[0010] Die Emission der RCLED 100 erfolgt im wesentlichen entlang der Resonatorachse 116, senkrecht zur Ebene der aktiven Schicht 108. Dabei wird wegen der Differenz der Brechungsindizes von Halbleiter und Umgebungsmaterial nicht die gesamte Strahlung ausgekoppelt, sondern nur der Anteil, der in einen Strahlungsauskopplungskegel 122 emittiert wird.

[0011] Die optische Resonatorlänge ist wegen des teilweisen Eindringens der erzeugten Strahlung in die Bragg-Spiegel 112, 114 gegeben durch die Dicke der Schichtenfolge 104, also durch die Dicke der n-leitenden Schicht 106, der aktiven Schicht 108 und der p-leitenden Schicht 110, sowie der Eindringtiefe der Strahlung in die Braggspiegel 112, 114. Da die Bragg-Spiegel aus einer großen Zahl an Halbleiterschichten bestehen, leisten sie einen merklichen Beitrag zur gesamten Resonatorlänge, so daß diese in der Praxis um ein mehrfaches größer als das Verhältnis der Wellenlänge der emittierten Strahlung λ zu dem Brechungsindex n der Schichtenfolge 104 ist.

[0012] Daher wird die erzeugte Strahlung nicht nur in einer entlang der Resonatorachse 116 emittierenden Hauptmode erzeugt, sondern daneben in mehrere, unter einem Winkel zur Resonatorachse emittierende Nebenmoden 120. Wie in der Fig. 1 gezeigt, haben diese Moden oft keinen Überlapp mit dem Auskopplungskegel 122, so daß ihre Strahlung nicht nach außen gelangt. Lediglich der mit Bezugszeichen 124 bezeichnete Anteil der erzeugten Strahlung trägt zur Lichtemission der Leuchtdiode bei. Dadurch bleibt sowohl die Effizienz als auch die Vorwärtsstrahlung der RCLED erheblich hinter den Möglichkeiten zurück.

[0013] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Effizienz von vertikal strahlungsemitierenden Halbleiterbauelementen zu steigern.

[0014] Diese Aufgabe wird durch das vertikal strahlungsemitierende Halbleiterbauelement nach Anspruch 1 und das Herstellungsverfahren nach Anspruch 18 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen und bevorzugte Ausgestaltungen des Bauelements und des Verfahrens gehen aus den Unteransprüchen hervor.

[0015] Die Erfindung baut auf einem vertikal strahlungsemitierenden Halbleiterbauelement mit einer Strahlungsauskopplungsschicht, die für einen Betrieb von der aktiven Schicht (18) emittierte Strahlung durchlässig ist, einer Halbleiterschichtfolge, die eine Photonen emittierende aktive Schicht enthält, einer zwischen der Strahlungsauskopplungsschicht und der Halbleiterschichtfolge angeordneten ersten Spiegelschicht mit einer Reflektivität R_1 und einer auf der von der Strahlungsauskopplungsschicht abgewandten Seite des Halbleiterschichtfolge angeordneten zweiten Spiegelschicht mit einer Reflektivität R_2 auf, wobei die erste und zweite Spiegelschicht einen vertikal zu einer Haupterstreckungsrichtung der Halbleiterschichtfolge angeordneten Resonator bilden, dessen Achse die vertikale Emissionsrichtung des Bauelements darstellt. Die Reflektivität R_1 der ersten Spiegelschicht ist kleiner als die Reflektivität R_2 der zweiten Spiegelschicht und die Strahlungsauskopplungsschicht ist für einen Betrieb von der aktiven Schicht emittierte Strahlung durchlässig, so daß im Betrieb die vertikal emittierte Strahlung im wesentlichen über die Strahlungsauskopplungsschicht aus dem Bauelement ausgekoppelt wird.

[0016] Bevorzugt ist die Strahlungsauskopplungsschicht von einem Aufwachssubstrat für die Halbleiterschichtfolge gebildet.

[0017] Das erfindungsgemäße Bauelement beruht auf der Beobachtung, daß insbesondere die Eindringtiefe der Strah-

lung in die Braggspiegel, die zur Erzielung hohen Reflektivität herkömmlich aus vielen Perioden bestehen, zur optischen Resonatorlänge beitragen. Es wird daher die erzeugte Strahlung über eine strahlungsdurchlässige Auskoppelschicht, insbesondere ein transparentes Substrat, ausgekoppelt und auf der zur Auskoppelschicht gewandten Seite der aktiven Schicht ein Spiegel vorgesehen, der mit weniger Perioden, also mit geringerer Eindringtiefe für die Strahlung aufgebracht werden kann. Somit wird der effektive Resonator kürzer und die Anzahl der erzeugten Strahlungsmoden reduziert.

[0018] Zweckmäßig ist die erste Spiegelschicht teilreflektierend mit einer Reflektivität R_1 von 30% bis 90%, bevorzugt von 40% bis 70%, besonders bevorzugt von etwa 50% bis etwa 60%.

[0019] Insbesondere kann die erste Spiegelschicht durch einen verteilten Bragg-Spiegel mit geringer optischer Eindringtiefe gebildet sein.

[0020] Die zweite Spiegelschicht ist mit Vorteil hochreflektierend mit einer Reflektivität R_2 größer als 90%, bevorzugt größer als 95%, besonders bevorzugt größer als 99%.

[0021] Insbesondere kann die zweite Spiegelschicht durch eine metallische Spiegelschicht gebildet sein. Durch die besonders geringe Eindringtiefe der Strahlung wird dadurch die optische Resonatorlänge weiter reduziert.

[0022] Zweckmäßig ist die optische Länge des Resonators so klein gewählt, daß neben einer Hauptmode nicht mehr als zwei Nebenmoden im Resonator erzeugt werden, bevorzugt, daß nicht mehr als eine Nebenmode im Resonator erzeugt wird.

[0023] In einer bevorzugten Ausgestaltung ist die optische Länge des Resonators zwischen $0,1 \mu\text{m}$ und $1 \mu\text{m}$ gewählt.

[0024] Das Material der Strahlungsaus-koppelschicht weist bevorzugt einen höheren Brechungsindex auf als die Halbleiterschichtfolge. Die geometrischen Lichtstrahlen werden dann beim Übergang vom Halbleiter in die Strahlungsaus-koppelschicht zum Lot hin gebrochen, also in Richtung auf die vertikale Emissionsrichtung der LED abgelenkt.

[0025] In einer bevorzugten Weiterbildung ist die Strahlungsaus-koppelschicht an ihrer der Halbleiterschichtfolge gegenüberliegenden Fläche strukturiert, um aus der aktiven Schicht unter einem Winkel zur Resonatorachse emittierte Strahlung beim Austritt aus der Strahlungsaus-koppelschicht zur Resonatorachse hin zu brechen. Es können somit bei der Auskopplung über die Seite der Strahlungsaus-koppelschicht mehr Strahlungsmoden ausgekoppelt werden, als bei der Auskopplung in herkömmlichen Bauelementen, das heißt über die dem Substrat abgewandten Oberseite des Bauelements. Insbesondere können so auch schräg im Resonator erzeugte Strahlungsmoden zur Gesamtemission beitragen.

[0026] Bevorzugt ist die Strahlungsaus-koppelschicht an ihrer der Halbleiterschichtfolge gegenüberliegenden Fläche in Teilbereichen so angeschrägt, daß aus der aktiven Schicht unter einem Winkel zur Resonatorachse emittierte Strahlung beim Austritt aus den angeschrägten Teilbereichen der Strahlungsaus-koppelschicht zur Resonatorachse hin gebrochen wird. Damit wird neben den genannten Vorteilen einer höheren Effizienz auch insbesondere die Vorwärtsstrahlung des Bauelements erhöht.

[0027] In einer zweckmäßigen Ausgestaltung, bei der im Betrieb im Resonator neben einer entlang der Resonatorachse emittierenden Hauptmode eine unter einem Winkel α zur Resonatorachse emittierende Nebenmode erzeugt wird, ist die Anschrägung der Strahlungsaus-koppelschicht so gewählt, daß der Winkel δ zwischen der ungeschrägten Oberfläche der Strahlungsaus-koppelschicht und dem angeschrägten Teilbereich am Auskoppelpunkt der Strahlung der Ne-

benmode im wesentlichen durch die Lösung der Gleichung

$$\delta = \arcsin(\sin(\delta - \beta_1) \cdot n_\beta / n_\gamma) \quad (1)$$

5 gegeben ist, wobei

$$\beta_1 = \arcsin(\sin(\alpha) \cdot n_\alpha / n_\beta) \quad (2)$$

und n_α den Brechungsindex der Halbleiterschichtfolge, n_β den Brechungsindex des Substrats und n_γ den Brechungsindex eines das Substrat umgebende Materials darstellt.

[0028] Gleichung (1) stellt eine numerisch lösbare Beziehung zwischen dem Schrägungswinkel δ und dem Einkoppelwinkel β_1 dar, wobei klar ist, daß eine physikalisch sinnvolle Lösung für δ im Bereich von 0 bis 90° liegt. Zusammen mit der Beziehung (2) ergibt sich für ein gegebenes Materialsystem, also gegebene Brechungsindizes n_α , n_β und n_γ ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Emissionswinkel der Nebenmode α und dem zur Auskopplung dieser Mode erforderlichen Schrägungswinkel δ der Auskoppelfläche.

[0029] In einer weiteren zweckmäßigen Ausgestaltung, bei der im Betrieb im Resonator eine weitere, unter einem Winkel α' zur Resonatorachse emittierende Nebenmode erzeugt wird, weist die Strahlungsaus-koppelschicht jeweils Anschrägungen mit Winkeln δ und δ' zwischen der ungeschrägten Oberfläche der Strahlungsaus-koppelschicht und dem angeschrägten Teilbereich am Auskoppelpunkt der Strahlung der Nebenmoden auf, die im wesentlichen durch genannten Beziehungen gegeben sind, wobei für die zweite Nebenmode die Winkelgrößen jeweils durch ihre gestrichenen Gegenstücke zu ersetzen sind. Das heißt,

$$\delta' = \arcsin(\sin(\delta' - \beta_1') \cdot n_\beta / n_\gamma)$$

und

$$\beta_1' = \arcsin(\sin(\alpha') \cdot n_\alpha / n_\beta).$$

[0030] In einer Ausgestaltung enthält die aktive Schicht GaN, InGaN, AlGaIn oder InAlGaIn.

[0031] Ebenso kann die erste Spiegelschicht eine Abfolge von GaN- und AlGaIn-Schichten enthalten.

[0032] Die zweite Spiegelschicht ist mit Vorteil elektrisch leitfähig, insbesondere kann zwischen der Halbleiterschichtfolge und der zweiten Spiegelschicht eine Isolationsschicht vorgesehen sein, die eine Öffnung zur Stromzuführung in die aktive Schicht aufweist.

[0033] Ein Verfahren zum Herstellen eines vertikal strahlungsemitierenden Halbleiterbauelements mit einer Halbleiterschichtfolge, die eine Photonen emittierende aktive Schicht enthält, umfaßt erfindungsgemäß die Verfahrensschritte:

- Bereitstellen eines transparenten Substrats aus einem Material mit einem größeren Brechungsindex als der der Halbleiterschichtfolge;

- Aufwachsen eines dünnen verteilten Bragg-Spiegels mit einer Reflektivität kleiner als 90%;

- Aufwachsen der Halbleiterschichtfolge mit der Photonen emittierenden aktiven Schicht;

- Aufwachsen eines hochreflektierenden Spiegels mit einer Reflektivität größer als 90%; und

- Strukturieren des strahlungsdurchlässigen Substrats an seiner der Halbleiterschichtfolge gegenüberliegenden Fläche, um aus der aktiven Schicht im Betrieb unter einem Winkel zur Resonatorachse emittierte Strahlung beim Austritt aus dem Substrat zur Resonator-

achse hin zu brechen.

[0034] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen, Merkmale und Details sowie Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung der Ausführungsbeispiele und den Zeichnungen.

[0035] Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Es sind jeweils nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente dargestellt. Dabei zeigt

[0036] Fig. 1 eine schematische Schnittansicht einer RCLED nach dem Stand der Technik zur Illustration der erzeugten Strahlungsmoden;

[0037] Fig. 2 eine schematische Schnittansicht einer RCLED nach einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0038] Fig. 3 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen RCLED zur Veranschaulichung der Winkelbeziehungen bei der Auskoppelung;

[0039] Fig. 4 eine schematische Darstellung einer weiteren erfindungsgemäßen RCLED zur Veranschaulichung der Winkelbeziehungen bei der Auskoppelung.

[0040] Die Darstellung in Fig. 1 ist weiter oben bereits näher beschrieben.

[0041] In Fig. 2 ist eine schematische Schnittansicht einer Leuchtdiode mit resonanter Kavität (RCLED) nach einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0042] Die insgesamt mit 10 bezeichnete RCLED enthält ein strahlungsdurchlässiges Strahlungsauskopplfenster, das aus einem für eine von der Leuchtdiode emittierte Strahlung transparenten Substrat 12 hergestellt ist und beispielsweise aus SiC besteht. Auf dem Substrat 12 ist ein dünner n-leitender Bragg-Spiegel 22 mit einer Reflektivität von 50%, bestehend aus einer alternierenden Abfolge von GaN- und Al-GaN-Schichten aufgewachsen.

[0043] Auf dem Bragg-Spiegel 22 ist eine Schichtfolge 14 auf Basis von GaN/AlInGaIn gewachsen, die eine n-leitende Mantelschicht 16, eine strahlungsemitierende aktive Schicht 18 und eine p-leitende Mantelschicht 20 umfaßt. Der Brechungsindex des SiC-Substrats 12 ist mit $n_{SiC} = 2,7$ größer als der Brechungsindex n_{GaN} der Halbleiterschichtfolge 14, der gleich 2,5 ist.

[0044] Auf der vom Bragg-Spiegel 22 abgewandten Seite der Halbleiterschichtenfolge 14 ist ein hochreflektierender und elektrisch leitender, im Ausführungsbeispiel metallischer, Spiegel 24 angeordnet, der zusammen mit dem Bragg-Spiegel einen Mikroresonator ausbildet. Zwischen dem Metallspiegel 24 und der p-Schicht 20 ist eine transparente Isolationsschicht 26 angebracht, die zentral bzgl. der Halbleiterschichtenfolge 14 ein Fenster 28 zur Stromzuführung in die aktive Schicht 18 aufweist.

[0045] Das Substrat 12 ist an seiner von der Halbleiterschichtfolge abgewandten Seite 40 in Teilbereichen 44 in einer Weise angeschrägt, die weiter unten ausführlicher beschrieben wird.

[0046] Die vertikale Emissionsrichtung der RCLED 10 ist durch die Resonatorachse 30 dargestellt. Im Betrieb der RCLED 10 wird im Resonator neben einer entlang der Resonatorachse 30 emittierenden Hauptmode 50 entsprechend der optischen Länge des Resonators auch eine Nebenmode 52 erzeugt, die unter einem gewissen Winkel zur Resonatorachse emittiert.

[0047] Aufgrund des höheren Brechungsindex des SiC-Substrats 12 wird die im Halbleiter 14 emittierte Strahlung beim Übergang in das Substrat 12 zum Lot hin gebrochen, wie durch die Strahlungskegel 34 und 36 veranschaulicht.

[0048] Der Anteil der aus dem Bauelement ausgekoppelten Strahlung wird auch durch die Differenz der Brechungs-

indizes des Substrats 12 und dem Umgebungsmaterial bestimmt. Da der Brechungsindex n_B des Substrats 12 in jedem Fall deutlich größer ist als der Brechungsindex n_U des Umgebungsmaterials ($n_U = 1$ für Luft, $n_U = 1,55$ für Epoxymaterial), kann nur solche Strahlung das Substrat 12 verlassen, die unter einem nicht zu flachen Winkel auf die Substratoberfläche 40 auftrifft.

[0049] Diese Bedingung ist bei der von der Hauptmode 50 emittierten Strahlung für den im Auskoppelkegel 34a enthaltenen Anteil erfüllt, diese Strahlung verläßt die Leuchtdiode in Vorwärtsrichtung 42.

[0050] Der Anteil der von der Hauptmode 50 emittierten Strahlung, der in den Hohlkegel 36a emittiert wird, trifft auf der Substratoberfläche 40 unter einem zu flachen Winkel auf, wird totalreflektiert und kann zur Strahlungsemission des Bauelements nicht beitragen.

[0051] Durch die Anschrägungen 44 ist die Auskoppelbedingung im Ausführungsbeispiel auch für die von der Nebenmode 52 ausgesandten Strahlung erfüllt. Die in den Hohlkegel 34b emittierte Strahlung trifft in geeignetem Winkel auf die angeschrägten Teilbereiche 44 des Substrats auf und kann das Bauelement verlassen.

[0052] Wie nachfolgend in Zusammenhang mit Fig. 3 erläutert, ist der Winkel der Anschrägung so gewählt, daß die in den Hohlkegel 34b emittierte Strahlung nicht senkrecht auf die angeschrägte Fläche auftrifft. Vielmehr ist im Ausführungsbeispiel die angeschrägte Fläche stärker geneigt, so daß die Strahlung der Nebenmode beim Austritt aus dem Substrat noch vorn, also in Richtung auf die Resonatorachse 30 hin gebrochen wird und so speziell die Vorwärtsstrahlung der RCLED 10 erhöht (Bezugszeichen 46).

[0053] Die Berechnung des Anschrägungswinkels δ ist in Fig. 3 für eine RCLED erläutert, bei der neben der Strahlung der Hauptmode 50 die Strahlung einer Nebenmode 52 nach vorn ausgekoppelt werden soll.

[0054] Die Strahlung der Hauptmode 50 läuft entlang der Resonatorachse und tritt ohne Brechung durch die Halbleiter/Substrat-Grenzfläche 22 und die Substrat/Umgebungsmaterial-Grenzfläche 40 und verläßt das Bauelement als vorwärtsgerichtete Strahlung 42.

[0055] Die Nebenmode 52 emittiert Strahlung unter einem Winkel α zur Resonatorachse. Der Winkel zwischen Nebenmode und Hauptmode wird dabei durch den Abstand der beiden Spiegel 22, 24, also die Resonatorlänge, und die Emissionswellenlänge der aktiven Schicht bestimmt.

[0056] Die über die Nebenmode 52 emittierte Strahlung wird an der Halbleiter/Substrat-Grenzfläche 22 gebrochen, wobei nach dem Brechungsgesetz

$$\beta_1 = \arcsin(\sin(\alpha) \cdot n_\alpha / n_\beta) \quad (3)$$

gilt, wobei β_1 den Winkel zwischen Lot und gebrochener Strahlung im Substrat 12 und n_α und n_β die Brechungsindizes von Halbleitermaterial 14 bzw. Substrat 12 darstellen.

[0057] Entsprechend gilt für den Winkel γ zwischen dem Einfallslot der Schrägungsfläche 44 und der Emissionsrichtung 46 der Nebenmode

$$\gamma = \arcsin(\sin(\beta_2) \cdot n_\beta / n_\gamma) \quad (4)$$

[0058] Soll die Emissionsrichtung 46 der Nebenmode nach dem Austritt aus dem Bauelement mit der Emissionsrichtung 42 der Hauptmode zusammenfallen, also ebenfalls nach vorn gerichtet sein, so muß gelten:

$$\gamma = \delta \quad (5)$$

und

$$\gamma = \beta_1 + \beta_2 \quad (6)$$

[0059] Mit den Beziehungen (5) und (6) läßt sich Gleichung (4) auch schreiben als

$$\delta = \arcsin(\sin(\delta - \beta_1) \cdot n_\beta / n_\gamma) \quad (1)$$

mit

$$\beta_1 = \arcsin(\sin(\alpha) \cdot n_\alpha / n_\beta) \quad (2)$$

[0060] Gleichung (1) stellt eine numerisch lösbare Beziehung zwischen dem Schrägungswinkel δ und dem Einkopplungswinkel β_1 dar, wobei klar ist, daß eine physikalisch sinnvolle Lösung für δ im Bereich von 0 bis 90° liegt. Zusammen mit der Beziehung (2) ergibt sich für ein gegebenes Materialsystem, also gegebene Brechungsindizes n_α , n_β und n_γ , ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Emissionswinkel der Nebenmode α und dem zur Auskopplung dieser Mode erforderlichen Schrägungswinkel der Auskoppelfläche.

[0061] Die beschriebene Vorgehensweise kann auch auf eine RCLED mit mehreren Nebenmoden angewandt werden, wie in Fig. 4 gezeigt. Dort emittiert die Nebenmode 52 Strahlung unter einem Winkel α zur Resonatorachse und eine weitere Nebenmode 54 Strahlung unter einem Winkel α' zur Resonatorachse.

[0062] Für beide Nebenmoden wird der für die Auskopplung erforderliche Anstrahlungswinkel wie im Zusammenhang mit der Fig. 3 beschrieben berechnet, wobei bei der Berechnung für die Nebenmode die Winkelgrößen durch ihre gestrichelten Entsprechungen ersetzt werden. Es ergibt sich ein Substrat mit zwei verschiedenen geschrägten Teilbereichen 44 und 48, die der Auskopplung und Vorwärtsbrechung der ersten bzw. zweiten Nebenmode dienen.

[0063] Selbstverständlich kann diese Vorgehensweise auch auf mehr als zwei Nebenmoden ausgedehnt werden, wenn auch, wie oben beschrieben, die Erfindung es in vorteilhafter Weise ermöglicht, die Resonatorlänge so kurz zu halten, daß nur wenige Nebenmoden im Resonator erzeugt werden.

[0064] Die Beschreibung der Erfindung anhand des oben erläuterten Ausführungsbeispiels ist selbstverständlich nicht als Einschränkung der Erfindung auf dieses zu verstehen. Vielmehr kann beispielsweise an Stelle des aus dem Substrat gefertigten Auskoppelfensters auch eine spezifisch aufgewachsene geeignete Auskoppelfensterschicht oder ein gesondert aufgebracht Auskoppelfenster vorgesehen sein.

Patentansprüche

1. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement mit einer vertikalen Emissionsrichtung mit einer Strahlungsauskopplerschicht (12), die für eine im Betrieb von der aktiven Schicht (18) emittierte Strahlung durchlässig ist, einer Halbleiterschichtfolge (14), die eine Photonen emittierende aktive Schicht (18) enthält, einer zwischen der Strahlungsauskopplerschicht (12) und der Halbleiterschichtfolge (14) angeordneten ersten Spiegelschicht (22) mit Reflektivität R_1 und einer auf der von der Strahlungsauskopplerschicht (12) abgewandten Seite des Halbleiterschichtfolge angeordneten zweiten Spiegelschicht (24) mit Reflektivität R_2 , wobei die erste und zweite Spiegelschicht (22, 24) einen vertikal zu einer Haupterstreckungsrichtung der Halbleiterschichtfolge angeordneten Resonator bilden,

dessen Achse (30) die vertikale Emissionsrichtung des Bauelements darstellt, und die Reflektivität R_1 der ersten Spiegelschicht (22) kleiner als die Reflektivität R_2 der zweiten Spiegelschicht (24) ist, derart, daß die vertikal emittierte Strahlung (42, 46) im wesentlichen über die Auskoppelschicht (12) aus dem Bauelement ausgekoppelt wird.

2. Halbleiterbauelement nach Anspruch 1, bei dem die Auskoppelschicht (12) von einem Substrat zum Aufwachsen der Halbleiterschichtfolge (14) gebildet ist.

3. Halbleiterbauelement nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die erste Spiegelschicht (22) teilreflektierend mit einer Reflektivität R_1 von 30% bis 90%, bevorzugt von 40% bis 70%, besonders bevorzugt von etwa 50% bis etwa 60% ist.

4. Halbleiterbauelement nach mindestens einem der vorangehenden, bei dem die erste Spiegelschicht durch einen verteilten Bragg-Spiegel (22) mit geringer optischer Eindringtiefe gebildet ist.

5. Halbleiterbauelement nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die zweite Spiegelschicht (24) hochreflektierend mit einer Reflektivität R_2 größer als 90%, bevorzugt größer als 95%, besonders bevorzugt größer als 99% ist.

6. Halbleiterbauelement nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die zweite Spiegelschicht durch eine metallische Spiegelschicht (24) gebildet ist.

7. Halbleiterbauelement nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die optische Länge des Resonators so klein gewählt ist, daß nicht mehr als drei Strahlungsmoden (50, 52, 54) im Resonator erzeugt werden, bevorzugt, daß nicht mehr als zwei Strahlungsmoden (50, 52) im Resonator erzeugt werden.

8. Halbleiterbauelement nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die optische Länge des Resonators zwischen 0,1 μm und 1 μm liegt.

9. Halbleiterbauelement nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem das Material der Auskoppelschicht (12) einen höheren Brechungsindex aufweist, als die Halbleiterschichtfolge (14).

10. Halbleiterbauelement nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Strahlungsauskopplerschicht (12) an ihrer der Halbleiterschichtfolge (14) gegenüberliegenden Seite (40) derart strukturiert ist, daß aus der aktiven Schicht unter einem Winkel zur Resonatorachse (30) emittierte Strahlung, beim Austritt aus dem Substrat (12) zur Resonatorachse (30) hin gebrochen wird.

11. Halbleiterbauelement nach mindestens einem der vorigen Ansprüche, bei dem die Strahlungsauskopplerschicht (12) an seiner der Halbleiterschichtfolge (14) gegenüberliegenden Seite (40) in Teilbereichen (44, 48) derart angeschrägt ist, daß aus der aktiven Schicht unter einem Winkel zur Resonatorachse (30) emittierte Strahlung beim Austritt aus den angeschrägten Teilbereichen (44, 48) des Substrats (12) zur Resonatorachse (30) hin gebrochen wird.

12. Halbleiterbauelement nach Anspruch 11, bei dem im Betrieb im Resonator neben einer entlang der Resonatorachse (30) emittierenden Hauptmode (50) eine unter einem Winkel α zur Resonatorachse emittierende Nebenmode (52) erzeugt wird, wobei die Anstrahlung der Strahlungsauskopplerschicht (12) so gewählt ist, daß der Winkel δ zwischen der ungeschrägten Oberfläche (40) des Substrats (12) und dem angeschrägten Teilbereich (44) am Auskoppelpunkt der Strahlung der

Nebenmode (52) im wesentlichen durch die Lösung der Gleichung

$$\delta = \arcsin(\sin(\delta - \beta_1) \cdot n_\beta/n_\gamma)$$

gegeben ist, wobei

$$\beta_1 = \arcsin(\sin(\alpha) \cdot n_\alpha/n_\beta)$$

und n_α den Brechungsindex der Halbleiterschichtfolge (14), n_β den Brechungsindex des Substrats (12) und n_γ den Brechungsindex eines das Substrat (12) umgebende Materials darstellt.

13. Halbleiterbauelement nach Anspruch 12, bei dem im Betrieb im Resonator eine weitere unter einem Winkel α' zur Resonatorachse emittierende Nebenmode (54) erzeugt wird, wobei die Strahlungsauskopplerschicht (12) jeweils Anschrägungen (44, 48) mit Winkeln δ und δ' zwischen der ungeschrägten Oberfläche (40) der Strahlungsauskopplerschicht (12) und den angeschrägten Teilbereichen (44, 48) am Auskopplpunkt der Strahlung der Nebenmoden (52, 54) aufweist, die im wesentlichen durch die in Anspruch 11 genannten Beziehungen gegeben sind.

14. Halbleiterbauelement nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die aktive Schicht (18) GaN, InGaN, AlGaIn oder InAlGaIn enthält.

15. Halbleiterbauelement nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die erste Spiegelschicht (22) eine Abfolge von GaN- und AlGaIn-Schichten enthält.

16. Halbleiterbauelement nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die zweite Spiegelschicht (24) elektrisch leitend ist.

17. Halbleiterbauelement nach Anspruch 16, bei dem zwischen der Halbleiterschichtfolge (14) und der zweiten Spiegelschicht (24) eine Isolationsschicht (26) vorgesehen ist, die eine Öffnung (28) zur Stromzuführung in die aktive Schicht (18) aufweist.

18. Verfahren zum Herstellen eines vertikal strahlungsemitierenden Halbleiterbauelements mit einer Halbleiterschichtfolge, die eine elektromagnetische Strahlung emittierende aktive Schicht enthält, mit den Verfahrensschritten:

- Bereitstellen eines für eine von der aktiven Schicht (18) emittierte Strahlung durchlässigen Substrats (12) aus einem Material mit einem größeren Brechungsindex als der der Halbleiterschichtfolge (14);

- Aufwachsen eines dünnen verteilten Bragg-Spiegels (22) mit einer ersten Reflektivität;

- Aufwachsen der Halbleiterschichtfolge (14) mit der aktiven Schicht (18);

- Aufbringen eines hochreflektierenden Spiegels (24) mit einer zweiten Reflektivität, die größer als die erste Reflektivität ist; und

Strukturieren des transparenten Substrats an seiner der Halbleiterschichtfolge gegenüberliegenden Fläche, um aus der aktiven Schicht im Betrieb unter einem Winkel zur Resonatorachse emittierte Strahlung beim Austritt aus dem Substrat zur Resonatorachse hin zu brechen.

19. Verfahren nach Anspruch 18, bei dem ein Bragg-Spiegel (22) mit einer Reflektivität von kleiner als 90% aufgewachsen wird.

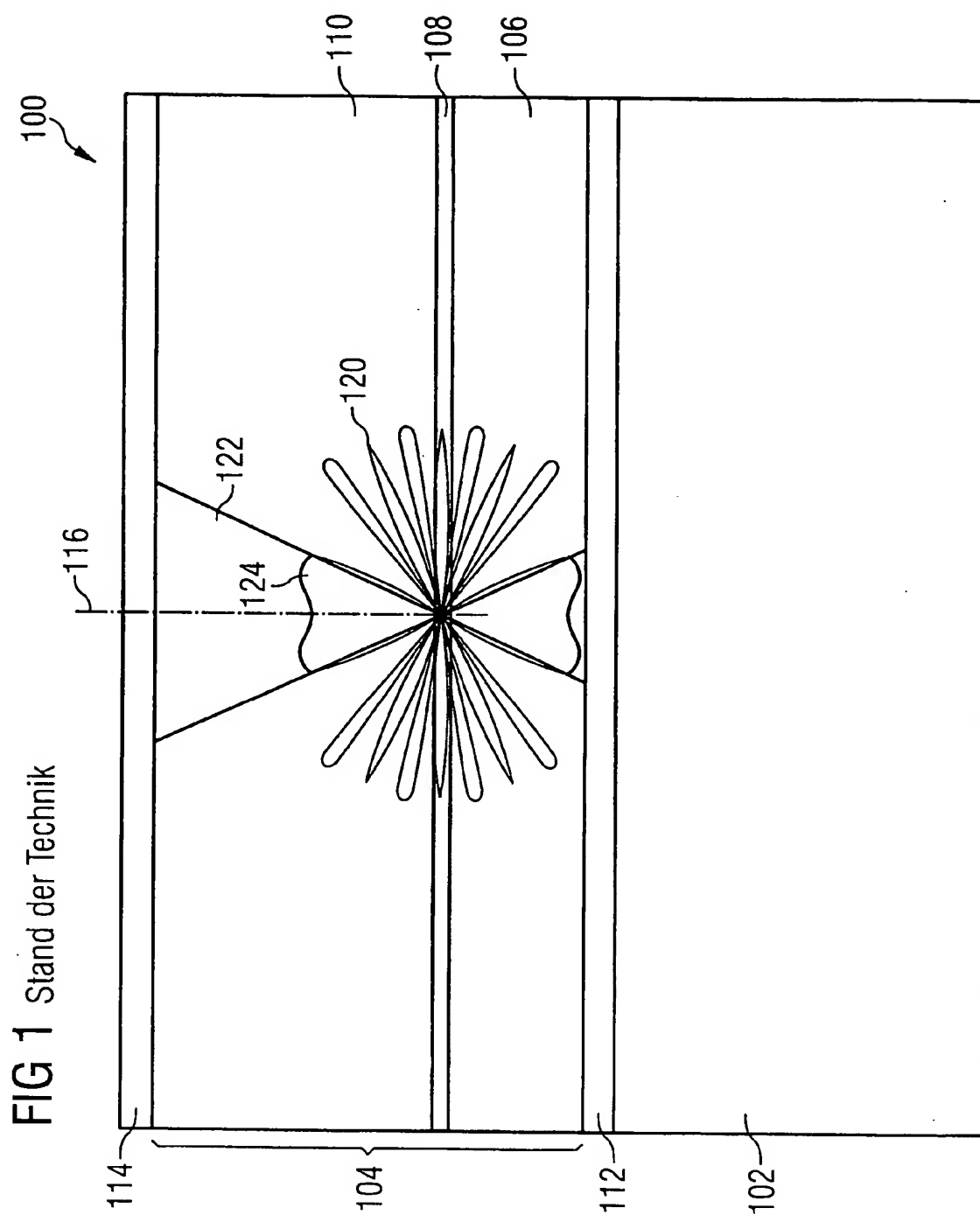
20. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19, bei dem ein hochreflektierender Spiegel (24) mit einer Reflektivität von größer als 90% aufgebracht wird.

21. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 18 bis 20, bei dem die Strukturierung des Substrats (12) mittels eines Sägeblattes mit Formrand durchgeführt wird.

22. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem der Formrand die Negativstruktur der Strukturierung aufweist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -



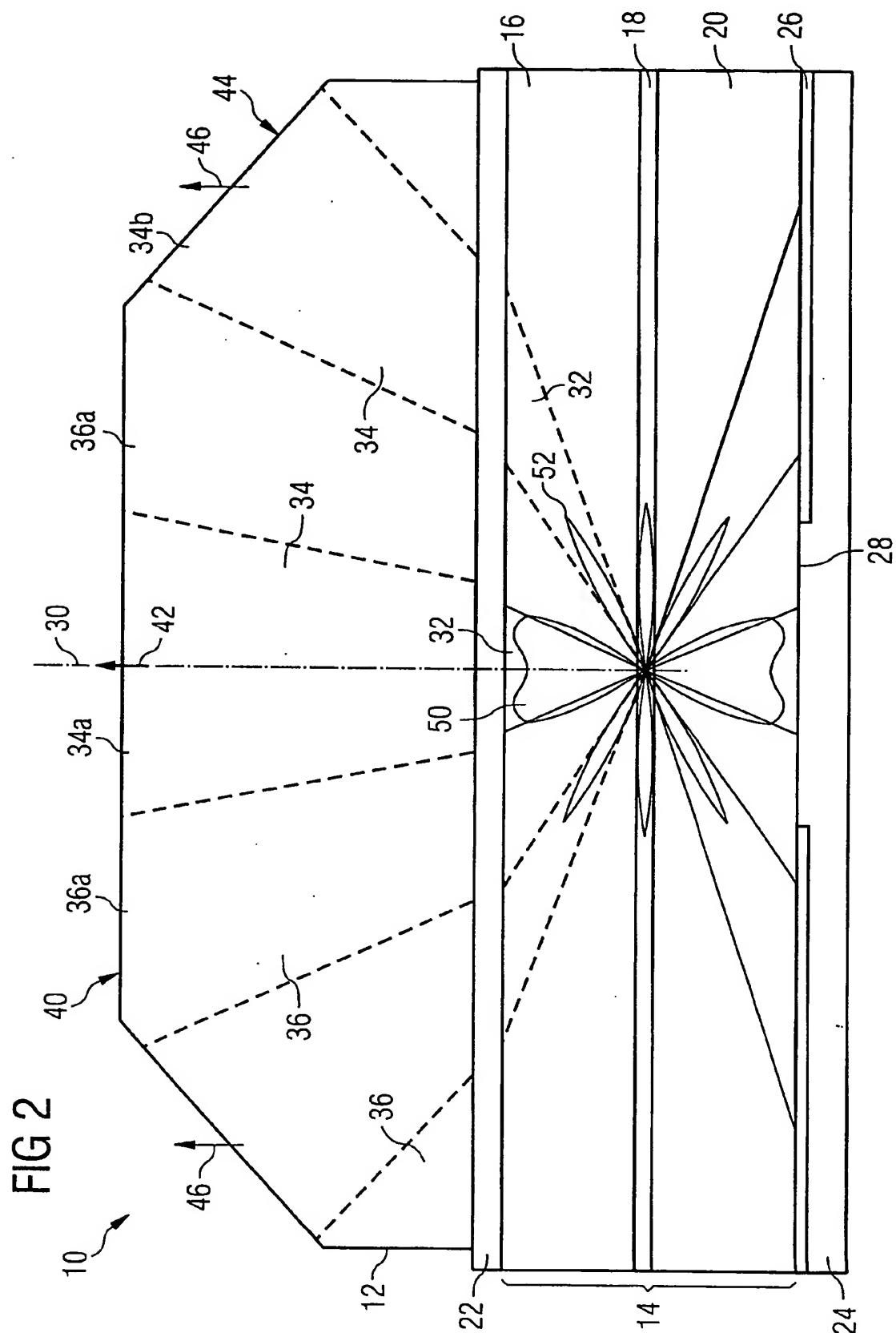


FIG 3

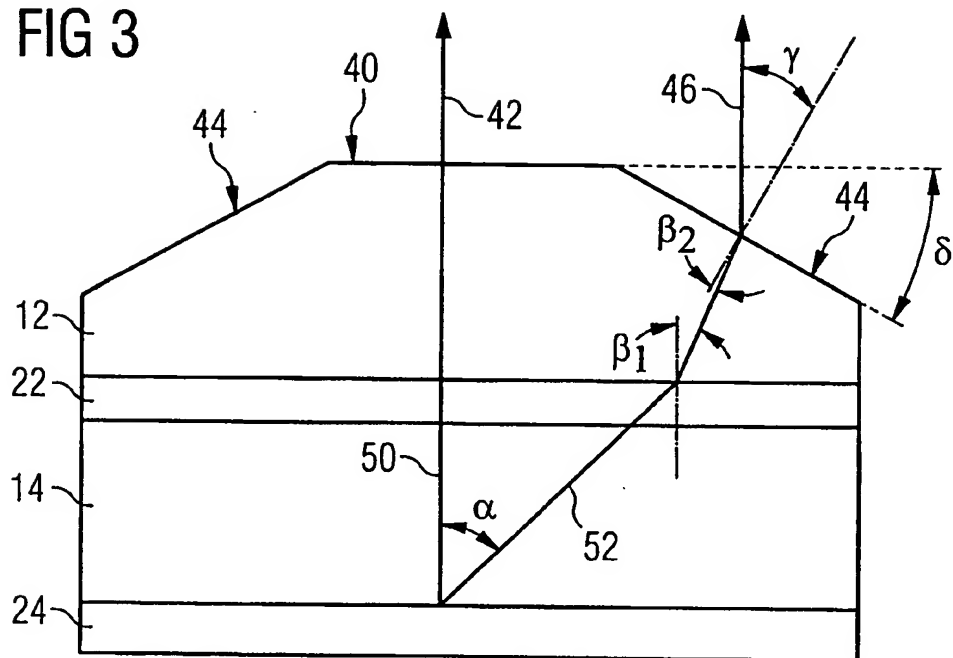


FIG 4

